

分布型流出モデルへの適用を目的とした基岩浸透モデルの開発
Development of an infiltration model
to bedrock layer to be incorporated to a distributed runoff model

○菅原 快斗・佐山 敬洋・寶 馨

○Yoshito SUGAWARA, Takahiro SAYAMA, Kaoru TAKARA

Recent studies revealed that vertical unsaturated flow in surface soil and weathered granite layer contributes flood runoff. Although the Richards' equation can be applied to simulate the flow in the both layers, it is typically difficult to apply directly for distributed runoff models because of high computational costs with the strong nonlinearity. Therefore, integration of the analytical solution of Richards' equation can be considered if it can provide flux information on arbitrary time and position. Since analytical solutions are typically limited in specific boundary and initial conditions, we have to select it properly according to the application. In this study, we report observed unsaturated flow in weathered bedrock and its representation by an analytical solution of the Richards' equation, an analogous to a heat conduction solution. The simulation results showed reasonable behaviors and the applicability of this analytical solution to be incorporated to a distributed runoff model. (147 words).

1 研究の背景と目的

過去の洪水データから帰納的にパラメータを決定する集中型流出モデルに対して、分布型流出モデルは各流出過程における物理パラメータを用いた演繹的な計算が可能である。そのため、観測データのない未曾有の大災害を対象とした解析にも適用が期待できる。しかし、分布型流出モデルにおいても十分なモデル化がされてない降雨流出過程があり、その開発が求められている。

一般に、山地の流出過程においては基岩の不透水性を仮定し、基岩上に発生する中間流及びそれが発達して発生する地表面流が河川への流出を担うものだと考えられてきた²⁾。これに伴い、飽和・不飽和流れを考慮した流量流積関係式を導出し、それを連続式に代入して解くことによって中間流・表面流を表現するといったモデルが提案されている³⁾。その一方で、土層における鉛直不飽和浸透が降雨流出変換を担い、斜面方向はパイプ流のような高速排水によって山地の流出が規定されているという新たな知見が示されている⁴⁾。すなわち、現在の分布型流出モデルで行われているような斜面方向のみに着目した解析では、実際の物理的機構を十分に反映しきれていないため、今後の流出解析の発展のためには土層における鉛直不飽和浸透現象を考慮したモデルの開発が必要になってくる。

さらに、近年の森林水文学的観測から、風化花崗岩等を有する流域においては基岩にも雨水が浸透し、地下水を涵養した後に比較的早く洪水流出に寄与するということが明らかになっている⁵⁾。この知見を踏まえて、基岩内に存在する地下水の流動を組み込んだ分布型流出モデルが開発されている⁶⁾。しかし、このモデルは山体地下水の流動を大局的に捉えるものの、基岩不飽和部における雨水の挙動を物理的根拠に基づいて解析しているわけではない。

以上に示したように山地の流出過程においては、鉛直方向の不飽和浸透現象の重要性が示されているものの、十分なモデル化がなされていない。そこで、本研究ではモデル化に向けて、土層と基岩における土壌水分量を観測し、分布型流出モデルへの適用を念頭に置いた解析手法を検討することによって、観測された浸透現象が再現可能であるかの議論を行うことを目的とした。

2 手法

本研究では、滋賀県大津市の桐生水文試験地で土壌水分量と間隙水圧を観測した。試験地は風化花崗岩の表層地質を有し、流域面積は約 6ha である。観測地点での簡易貫入試験から、土層と基岩の境界は概ね 60cm の深さにあることがわかっている。プロファイル式土壌水分計を設置し、地表

面から 30cm,60cm,90cm,120cm,150cm の深さで土壌水分量を計測する。また、土壌水分計から約 1メートル離れた地点において地表面から 30cm,60cm,70cm の深さで間隙水圧を測定する。

観測結果の再現には線形拡散方程式の解析解を用いた。線形拡散方程式は、重力項を無視し拡散係数を一定とおいた場合のリチャーズ式と同形である。土壌が十分に湿潤している条件に適用範囲が限られるが、重ね合わせの原理を用いることによって、観測された降雨をそのまま入力として計算することが可能である。

3 結果

図-1に最適化されたパラメータを用いた解析解の計算結果と観測データの比較を示す。解析解は、観測と同様の圧力変化の波形を表現できていることがわかる。図-2は同じパラメータを用いた深度 60cm のフラックス変化を示す。このフラックスを土層から排出される雨水とみなし、基岩での浸透計算を行う。本研究では、まず土層から排出された雨水がすべて基岩へと浸透するものと仮定した。すなわち、図-2のフラックス変化を入力として、新たなパラメータの下で、解析解を用いた基岩層の浸透計算を行った。そうして求めた深度 90cm の圧力変化と観測との比較を図-3に示す。深度 90cm では圧力を計測していないため絶対的な値の比較はできないが、観測された水分量と同様の波形を再現できていることがわかる。

4 結論

本研究では、拡散方程式の解析解を用いて、土層と基岩層における水分量観測データの再現計算を行った。その結果、解析解は観測と同様の波形を表現できることがわかった。今後は、解析解の適用範囲の検討や斜面方向の流れと連結した計算を行っていくつもりである。

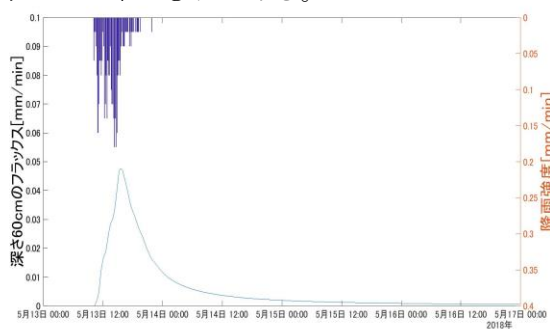


図-2 深度 60cm でのフラックス変化(解析解)

参考文献

- 1) 佐山敬洋, 建部祐哉, 藤岡奨, 牛山朋来, 萬矢敦啓, 田中茂信 : 2011 年タイ洪水を対象にした緊急対応の降雨流出氾濫予測, 土木学会論文集 B1(水工学), 69 巻 1 号, pp.14-29, 2013.
- 2) 高棹琢馬, 椎葉充晴 : Kinematic Wave 法への集水効果の導入, 京都大学防災研究所年報, 第 24 号 B-2, pp.159-170, 1981.
- 3) 立川康人, 永谷言, 宝馨 : 飽和・不飽和流れの機構を導入した流量流積関係式の開発, 水工学論文集, 第 48 巻, pp.7-12, 2004.
- 4) 谷誠 : キネマティックウェーブモデルの問題はどこにあるのか, 水文・水資源学会誌 28 巻 3 号, pp.137-139, 2015.
- 5) Kosugi, K., Fujimoto, M, Katsura, S, Kato, H., Sando, Y. and Mizuyama, T. : A localized bedrock aquifer distribution explains discharge from a headwater catchment, Water Resources Research 47, W07530, 2011.
- 6) 佐山敬洋, 小杉賢一朗, 岩見洋一 : 山体地下水の流動を表現する分布型降雨流出モデルの開発, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.71, No.4, pp. 331-336, 2015.
- 7) Iverson, R. M. : Landslide triggering by rain infiltration, Water Resources Research, Vol.36, No.7, pp.1897-1910, 2000.

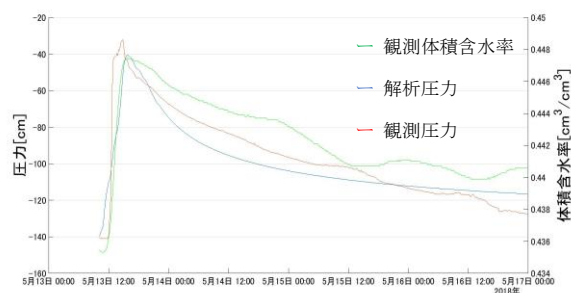


図-1 深度 30cm での解析解と観測結果の比較

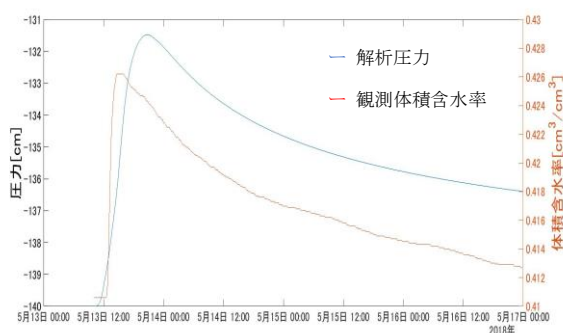


図-3 深度 90cm の基岩層における比較